

УДК 621.396.96(045)

МУЛЬТИПЛИКАТИВНО КОМПЛЕМЕНТАРНЫЕ БИНАРНЫЕ СИГНАЛЬНО-КОДОВЫЕ КОНСТРУКЦИИ

А. Г. ГОЛУБНИЧИЙ, Г. Ф. КОНАХОВИЧ

*Национальный авиационный университет,
Украина, Киев, 03058, пр-т Космонавта Комарова, 1*

Аннотация. Предложены сигнально-кодовые конструкции, которые состоят из двух и более составляющих, формируемых на основе бинарных последовательностей и обладающих свойством мультипликативной комплементарности в смысле результатов их согласованной фильтрации. Системно изложены правила синтеза бинарных последовательностей, которые составляют такие сигнально-кодовые конструкции, аналитически описаны их корреляционные свойства, особенности их обработки и структура получаемого в результате сигнала. На основе статистической модели коррелированных сигнальных составляющих и их кластеризации показана теоретическая преемственность предлагаемых сигнально-кодовых конструкций и бинарных последовательностей Баркера. Приведены примеры формирования, обработки и параметры исследованных сигнально-кодовых конструкций. Произведен сравнительный анализ структурных особенностей и помехоустойчивости мультипликативно комплементарных сигнально-кодовых конструкций с комплементарными последовательностями (кодами Голея) — сигнально-кодовыми конструкциями, обладающими свойством аддитивной комплементарности, выявлены их преимущества и недостатки в отношении спектральных характеристик и характеристик обнаружения сигналов (ошибки первого и второго рода).

Ключевые слова: комплементарные последовательности; максимальный уровень боковых лепестков; подавление боковых лепестков; корреляционные свойства; обнаружение сигналов; обработка сигналов

ВВЕДЕНИЕ

Предлагаемые и анализируемые в этой статье сигнально-кодовые конструкции (СКК) относятся к физическому уровню широкополосных радиотехнических систем, в которых используются сложные шумоподобные сигналы, характеризующиеся базой сигнала $B \gg 1$. Принципы работы таких радиотехнических систем хорошо известны и используются в радиолокации, телекоммуникациях, радионавигации, системах синхронизации благодаря высокой точности обнаружения сигналов, которая обеспечивается за счет их частотной или временной избыточности [1, 2].

Основным способом обработки таких сигналов является согласованная фильтрация, которая технически реализуется с помощью согласованных фильтров (СФ) [3]. Для сигнала $S(t)$, который сформирован на основе бинарной последовательности $a_i \in \{\pm 1\}$, $i = \overline{1, N}$, где N — длина бинарной последовательности, реализуемая процедура согласованной фильтрации аналитически может быть представлена выражением:

$$Z(t) = \sum_{i=1}^N a_{N+1-i} S(t - i\tau)$$

при

DOI: [10.20535/S0021347018100011](https://doi.org/10.20535/S0021347018100011)

© А. Г. Голубничий, Г. Ф. Конахович, 2018

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Bouhedjeur, Hamza; Tourche, Kamal; Abbadi, Ali; Bencheikh, Med Laid; Magaz, Boualem. "Investigation of a joint I/Q demodulation/pulse compression scheme for radar applications," *Proc. of Seminar on Detection Systems Architectures and Technologies*, 20–22 Feb. 2017, Algiers, Algeria. IEEE, 2017, P. 1-5. DOI: [10.1109/DAT.2017.7889150](https://doi.org/10.1109/DAT.2017.7889150).
2. Гантмахер, В. Е.; Быстров, Н. Е.; Чеботарев, Д. В. *Шумоподобные сигналы. Анализ, синтез, обработка*. СПб.: Наука и техника, 2005. 400 с.
3. Stärke, Paul; Fritsche, David; Carta, Corrado; Ellinger, Frank. "A passive tunable matching filter for multiband RF applications demonstrated at 7 to 14 GHz," *IEEE Microwave Wireless Components Lett.*, Vol. 27, No. 8, P. 703-705, 2017. DOI: [10.1109/LMWC.2017.2724006](https://doi.org/10.1109/LMWC.2017.2724006).
4. Nunn, Carroll J.; Coxson, Gregory E. "Best-known autocorrelation peak sidelobe levels for binary codes of length 71 to 105," *IEEE Trans. Aerospace Electronic Syst.*, Vol. 44, No. 1, P. 392-395, 2008. DOI: [10.1109/TAES.2008.4517015](https://doi.org/10.1109/TAES.2008.4517015).
5. Schmidt, Kai-Uwe. "Binary sequences with small peak sidelobe level," *IEEE Trans. Inf. Theory*, Vol. 58, No. 4, P. 2512-2515, 2012. DOI: [10.1109/TIT.2011.2178391](https://doi.org/10.1109/TIT.2011.2178391).
6. Xu, Lei; Liang, Qilian; Jiang, Ting. "A ternary pulse compression code: Design and application to radar system," *Proc. of IEEE Int. Conf. on Acoustics, Speech and Signal Processing*, 14-19 Mar. 2010, Dallas, TX, USA. IEEE, 2010, P. 4050-4053. DOI: [10.1109/ICASSP.2010.5495762](https://doi.org/10.1109/ICASSP.2010.5495762).
7. Friese, M. "Polyphase Barker sequences up to length 36," *IEEE Trans. Inf. Theory*, Vol. 42, No. 4, P. 1248-1250, 1996. DOI: [10.1109/18.508850](https://doi.org/10.1109/18.508850).
8. Muralidhara, N.; Rajesh, B.; Biradar, Rajashekhar C.; Jayaramaiah, G. V. "Designing polyphase code for digital pulse compression for surveillance radar," *Proc. of 2nd Int. Conf. on Computing and Communications Technologies*, 23-24 Feb. 2017, Chennai, India. IEEE, 2017, P. 1-5. DOI: [10.1109/ICCCT2.2017.7972239](https://doi.org/10.1109/ICCCT2.2017.7972239).
9. Jedwab, Jonathan; Parker, Matthew G. "A construction of binary Golay sequence pairs from odd-length Barker sequences," *J. Combinatorial Designs*, Vol. 17, No. 6, P. 478-491, 2009. DOI: [10.1002/jcd.20222](https://doi.org/10.1002/jcd.20222).
10. Бычков, В. Е.; Мрачковский, О. Д.; Правда, В. И. "Особенности применения кодов Голя в радиолокации," *Известия вузов. Радиоэлектроника*, Т. 51, № 4, С. 49–55, 2008. URI: <http://radio.kpi.ua/article/view/S0021347008040055>.
11. Голубничий, А. Г. "Правила кодирования и структура обобщенных бинарных последовательностей Баркера," *Проблеми інформатизації та управління*, Т. 4, № 44, С. 20–26, 2013. URI: <http://jrn1.nau.edu.ua/index.php/PIU/article/view/6359>.
12. Chen, Bin; Wu, Yaqiong; Tao, Bo; Zheng, Ying. "Entropy-clustering and K-means based kernel partial least squares soft-sensing method," *Proc. of 36th Chinese Control Conference*, 26-28 July 2017, Dalian, China. IEEE, 2017, P. 2139-2143. DOI: [10.23919/ChiCC.2017.8027672](https://doi.org/10.23919/ChiCC.2017.8027672).

Поступила в редакцию 14.02.2018

После переработки 19.09.2018